مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال هفتم، شماره ۵، ویژه‌نامه زمستان ۱۳۹۱، صفحات ۷۴۳-۷۳۷

کاربرد مدل‌سازی ریاضی و میکروبیولوژی پیشگو در صنایع غذایی

مریم شهنیا[۱]، بهراد رادمهر[۲]، مهران قاسملو[۳]، رامین خاکسار[۴]

۱-کمیته تحقیقات دانشجویان، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۲-استادیار گروه بهداشت مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

۴- نویسنده مسئول: دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران. پست الکترونیکی: r.khaksar@sbmu.ac.ir

چکیده

افزایش شیوع بیماری‌های ناشی از مواد غذایی همواره ضررهای اجتماعی و اقتصادی به جامعه وارد می‌سازد و بنابراین نیاز به تحقیق برای روش‌های جدید جلوگیری از آلودگی مواد غذایی همواره احساس می‌شود. در سال‌های اخیر افزایش قابل توجهی در بررسی مدل‌های ریاضی در میکروبیولوژی پیش‌گو به وجود آمده است که قابلیت تخمین رشد میکروبی را به روش ارزان‌تر و آسان‌تر ممکن می‌سازد. اطلاعات جمع‌آوری شده مربوط به رفتار میکروبی به صورت مدل‌های ریاضی ارائه می‌شود. به عبارت دیگر مدل میکروبیولوژیکی غذایی پیش‌گو یک بیان ریاضی است که رشد، بقاء یا غیر فعال شدن یک ریز سازواره را توصیف می‌کند که با استفاده از اطلاعات دقیق و جزئیات مربوط به پاسخ‌های ریز سازواره ها به شرایط محیطی کیفیت و سلامت میکروبیولوژیکی مواد غذایی ارائه می‌کند.

واژگان کلیدی: غذا، میکروبیولوژی پیش‌گو، رشد، غیر فعال‌سازی

مقدمه

امروزه علی‌رغم پیشرفت چشم‌گیر درعرصه تولید، نگهداری و عرضه مواد غذایی، موضوع سلامت مواد غذایی اهمیت روز افزونی دربهداشت عمومی پیدا کرده است و حفظ ایمنی ماده غذایی و کیفیت آن در دوره ماندگاری امری است که نه تنها توجه متخصصین صنعت غذا و مسئولین سلامت کشورها را به خود جلب کرده است، بلکه بی‌توجهی یا کم توجهی به آن می‌تواند صدمات جبران ناپذیری به جامعه وارد کند. حدود ۳۰ درصد مردم درکشورهای صنعتی حداقل یک‌بار درسال به بیماری‌های منتقله ازمواد غذایی مبتلا می‌شوند. بیماری‌های ناشی از مصرف غذاهای آلوده در همه جای دنیا حتی در کشورهای پیشرفته‌ای چون آمریکا هم یک مشکل اساسی به شمار می‌رود. لذا نیاز به کاهش یاحذف پاتوژن‌های غذایی با استفاده از روش‌های جدید کاملاً محسوس می‌باشد (۱). میکروبیولوژی پیش‌گو بدین منظور برنامه‌ریزی شد که پاسخ‌های رشد، بقاء و مرگ میکروب‌های مهم در مواد غذایی با در نظر گرفتن عوامل کنترل کننده اصلی و اثرات حالت‌های ترکیبی درجه حرارت، pH و aw مدل‌سازی شود. چنان‌چه مدل‌های ریاضی مربوط به طیف وسیعی از مواد غذایی توسعه پیدا نماید نیاز به انجام آزمایشات میکروبیولوژی اختصاصی و موردی برای غذاهایی جدید به میزان زیادی کاهش خواهد یافت.میکروبیولوژی غذایی پیش‌گو شاخه‌ای از میکروبیولوژی مواد غذایی است که با استفاده از اطلاعات دقیق و جزئیات مربوط به پاسخ‌های میکروارگانیسم‌ها به شرائط محیطی، ارزیابی صحیحی از تأثیرات عوامل دخیل در فرآوری، نگهداری و تولید بر روی کیفیت و سلامت میکروبیولوژیکی مواد غذایی ارائه می‌کند. میکروبیولوژی پیش‌گو سبب افزایش دقت تصمیم‌گیری در مورد سلامت میکروبی و کیفی مواد غذایی می‌شود.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-06-23]

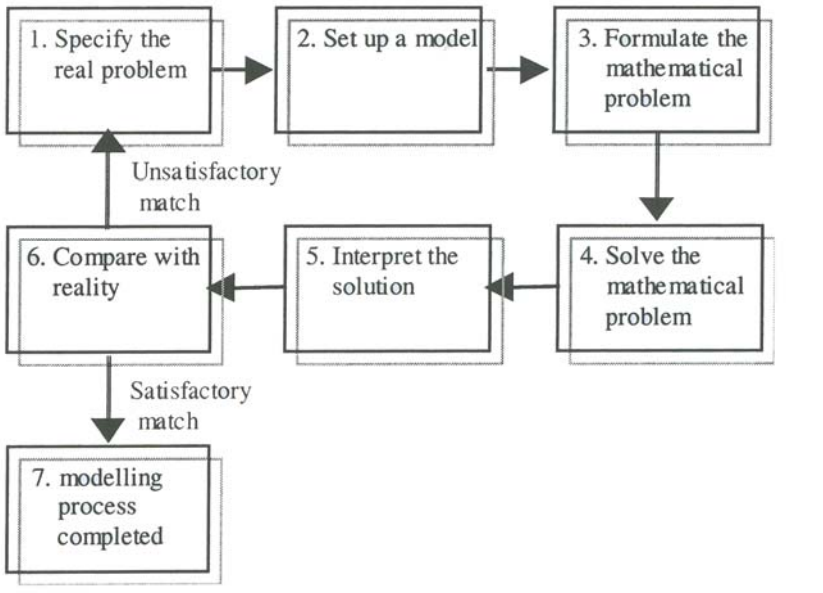
مدل‌سازی

مدل به طور ساده موضوع یا مفهومی است که برای نشان دادن نتایج یک پدیده بر روی پدیده‌ای دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک مدل از یک سیستم وسیله‌ای است که به ما کمک می‌کند تا بتوانیم به سوالاتی در مورد سیستم، بدون تجربه کردن آن‌ها، پاسخ دهیم (۳، ۲).

مدل‌سازی ریاضی

استفاده از علم ریاضی در بازسازی مسائل به عنوان "مدل‌سازی ریاضی" تعبیر می‌شود. مدل ریاضی مدلی است که با استفاده از مفاهیم ریاضی مانند ثابت‌ها، متغیرها، توابع، معادلات و نظایر آن ساخته می‌شود. و باید به‌گونه‌ای باشد که بتواند راه‌حلی برای مسائل موجود ارائه کند (۳).

در مدل‌سازی ریاضی در مرحله اول باید صورت مسئله، مجهولات و معلومات آن را بدانیم. در مرحله بعدی می‌خواهیم با توجه به پارامترهای موجود، ارتباطی بین عوامل اثرگذار برقرار کنیم و در واقع مدلی بسازیم. در این مرحله بعضی ویژگی‌ها یا عوامل درنظر گرفته می‌شوند و بعضی را کنار می‌گذاریم. در مرحله سوم، فرمول‌بندی ریاضی مسئله را انجام می‌دهیم. این مرحله معمولاً مشکل‌ترین مرحله مدل‌سازی یک پروسه به‌شمار می‌آید. هر اطلاعاتی که در مورد داده‌های موجود داریم، به معادله ریاضی تبدیل می‌شود. می‌توانیم از بعضی از تکنیک‌ها برای تبدیل صورت مسئله به مجهولات موجود در معادلات حاصل استفاده نماییم. تشخیص و فرمول‌بندی ارتباط بین متغیرها و چگونگی استفاده از ورودی- خروجی‌ها در این مرحله مطرح می‌شود. در مرحله چهارم، باید این معادله را حل کنیم. یعنی با قرار دادن مقادیر معلوم به متغیرها نتیجه حاصل را به دست آوریم. در مرحله پنجم، نتیجه به دست آمده را تفسیر می‌کنیم. در واقع فرد باید بداند که آیا ارتباط منطقی بین نتیجه حاصل از مدل و تغییرات مشاهده شده در آزمایشات وجود دارد یا نه. در مقایسه مدل با واقعیت (مرحله ششم) باید اعتباردهی، ارزیابی و بازگشت را انجام دهیم. اگر مدل نیاز به اصلاح دارد باید به مرحله اول بازگردیم و حلقه را تکرار کنیم. مدل‌سازی ریاضی یک پروسه بازگشتی است که از یک سری اطلاعات خام، با پردازش‌های متناوب به دست می‌آید و اصلاح مدل تا زمان رسیدن به مدل ایده‌آل ادامه می‌یابد. یک مدل باید در یک زمان به اندازه کافی پیچیده و برای پیش‌گویی به‌اندازه کافی ساده باشد تا بتواند مورد استفاده قرار گیرد (۴).



شکل۱. فلوچارت مراحل مدل‌سازی

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-06-23]

میکروبیولوژی پیش‌گو

میکروبیولوژی غذایی پیش‌گو شاخه‌ای از میکروبیولوژی مواد غذایی است که با استفاده از اطلاعات دقیق و جزئیات مربوط به پاسخ‌های میکروارگانیسم‌ها به شرائط محیطی، ارزیابی صحیحی از تأثیرات عوامل دخیل در فرآوری، نگهداری و تولید بر روی کیفیت و سلامت میکروبیولوژیکی مواد غذایی ارائه می‌کند. میکروبیولوژی پیش‌گو سبب افزایش دقت تصمیم‌گیری در مورد سلامت میکروبی و کیفی مواد غذایی می‌شود به این میکروبیولوژی هم‌چنین اکولوژی میکروبی کمی نیز گفته می‌شود. اطلاعات جمع آوری شده مربوط به رفتار میکروبی به صورت مدل‌های ریاضی ارائه می‌شود. به عبارت دیگر مدل میکروبیولوژیکی غذایی پیش‌گو یا به طور خلاصه مدل پیش‌گو یک بیان ریاضی است که رشد، بقاء، غیر فعال شدن یا فرآیند بیوشیمیایی یک میکروارگانیسم غذا زاد را توصیف می‌کند (۱۰-۵).

از نظر تاریخی میکروبیولوژی مواد غذایی همیشه بخش فعالی برای مدل‌سازی ریاضی داشته است. مدل‌سازی در میکروبیولوژی مواد غذایی از سال ۱۹۲۲ با طراحی و توصیف پروسس حرارتی لازم برای نابود کردن 10^{12} اسپور کلستریدیوم بوتولینوم تایپ A در کنسروهای غذایی توسط Esty و Meyer آغاز شد. با وجودی که روش پخت بوتولینوم اولین مدل پیش‌گو در مواد غذایی بوده است اما بحث راجع به امکان و توان استفاده از میکروبیولوژی پیش‌گو برای توصیف رشد میکروبی را می‌توان در نوشته‌های Scote در سال ۱۹۳۷ مشاهده کرد. Scote به خوبی متوجه قابلیت استفاده از اطلاعات جمع آوری شده در مورد پاسخ‌های رشد میکروبی برای پیش‌گویی عمر نگهداری و سلامت مواد غذایی شده بود ولی به علت عدم قدرت محاسبه اطلاعات درک دقیقی از این مبحث بوجود نیامد و نتایج این گونه کارهای تحقیقاتی تا دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ مسکوت ماند. از آن زمان به بعد میکروبیولوژی پیش‌گو به صورت مدرن آغاز شد (۸، ۶، ۴).

مطالعات Spencer and Baines در ۱۹۶۴، Olley و Ratkowsky در ۱۹۷۳ با استفاده ازمدل‌های کینتیک و Robert و همکاران و نیز جنی جورجیس در ۱۹۸۱ در خصوص بروز بوتولیسم و مسمومیت‌های میکروبی بر اساس مدل‌های احتمالات نمونه‌هایی از تحقیقات مدرن در زمینه میکروبیولوژی پیش‌گو محسوب می‌شود. در دهه ۱۹۸۰ در نتیجه بروز موارد شیوع مسمومیت غذایی و به دنبال آن آگاهی عمومی در خصوص نیاز به داشتن مواد غذایی سالم افزایش چشمگیری در توجه به میکروبیولوژی پیش‌گو پدید آمد (۶).

همان گونه که ذکر شد مفهوم میکروبیولوژی پیش‌گو بدین منظور برنامه‌ریزی شد که پاسخ‌های رشد، بقاء و مرگ میکروب‌های مهم در مواد غذایی با در نظر گرفتن عوامل کنترل کننده اصلی و اثرات حالت‌های ترکیبی درجه حرارت، pH و aw مدل‌سازی شود. چنان‌چه مدل‌های ریاضی مربوط به طیف وسیعی از مواد غذایی توسعه پیدا نماید نیاز به انجام آزمایشات میکروبیولوژی اختصاصی و موردی برای غذاهایی جدید به میزان زیادی کاهش خواهد یافت و حتی شاید بتوان پیش‌گویی زمان نگهداری و سلامت غذا را از طریق یک پایگاه اطلاعاتی کامپیوتری انجام داد. البته به نظر می‌رسد که منابع مالی مورد نیاز برای انجام چنین طرحی چشم‌گیر باشد. در دهه‌های اخیر تمایل بسیار زیادی برای استفاده از مدل‌سازی پیش‌گو بوجود آمده است که از دلایل عمده آن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

۱. قابلیت دسترسی آسان به کامپیوتر و استفاده از نرم افزارهای لازم برای انجام محاسبات ریاضی.

۲. تمایل مصرف کنندگان برای مصرف مواد غذایی تازه‌تر که فرآوری کمتری بر روی آن‌ها انجام شده باشد. این امر مستلزم استفاده از سیستم‌های نگهدارنده چند مانعی است.

این سیستم‌ها با استفاده از حالت‌های ترکیبی عوامل موثر بر رشد میکروارگانیسم‌ها ایجاد می‌شود. در این سیستم‌ها هیچ یک از عوامل به تنهایی برای ممانعت از رشد کافی نبوده و استفاده از ترکیب صحیح عوامل می‌تواند مانع رشد میکروارگانیسم شود. لذا باید بتوان اثر هر فاکتور و نیز اثرات ترکیبی آن‌ها را محاسبه نماییم (۱۱، ۸).

در تحقیقات میکروبی کلاسیک، پردازش اطلاعات صرفاً گراف‌هایی را نشان می‌دهد که بیان‌گر رشد یا غیر فعال شدن میکروب‌ها در سطوح مختلف یک یا گاهی دو عامل باشد. چنان‌چه تعداد این فاکتورها بیشتر شود درک آن برای خوانندگان مشکل خواهد بود. در مدل‌سازی فرض بر این است که رشد یا غیر فعال شدن میکروارگانیسم‌ها در یک ماده غذایی را می‌توان با تعیین رفتار میکروب در محیط‌های برات یا سایر سیستم‌ها مدل ارزیابی نمود. مدل‌ها معمولاً شامل فاکتورهایی نظیر درجه حرارت، pH، نمک، aw، نیتریت سدیم، اسیدهای آلی، اتمسفر هوازی یا بی هوازی هستند. این مدل‌ها می‌توانند غالب رفتارهای میکروبی را در

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-06-23]

مـواد غـذایی توضـیح دهنـد. البتـه غـذا مـی‌توانـد دارای فاکتورهای مهم دیگری نیز باشـد کـه مـدل را غیـر کارآمـد سازد. یک مدل باید دارای تعداد قابل قبـولی پـارامتر باشـد. پارامترها یا فاکتورهای موجود در یک مدل را باید بتـوان بـه سادگی اندازه‌گیری نمود. یک مدل در عـین حـال کـه بایـد ساده باشد بایستی به اندازه کافی پیچیدگی هم داشته باشـد تا بتواند پیش‌گویی مناسبی ارائه نماید. سـادگی مـدل از آن جهت اهمیت دارد که بتوان به راحتـی از آن اسـتفاده کـرد. توازن بین سادگی و پیچیدگی بدین معنـی اسـت کـه هـیچ مدلی را نمی‌توان به عنوان بهترین مدل بـرای همـه حـالات قلمداد کرد (۴).

کاربرد مدل‌ها

مدل‌های میکروبی ابزاری مفید برای میکروبیولوژیست‌هـا جهت ارزیابی اولیه رفتار میکروب‌ها هستند. با این حال ایـن مدل‌ها تنها یکـی از متعـدد منـابع اطلاعـاتی مـی‌باشـد کـه میکروبیولوژیست‌ها می‌توانند از آن‌ها استفاده کنند. بـه کـار بردن مدل‌ها جهت قضاوت در مورد سلامت غذا و یـا تعیـین راهکار بهداشتی مستلزم ارزیابی دقیق مـدل اسـت. اسـتفاده کننده از مدل‌ها باید آن‌ها را درک نمایـد و محـدوده کـاربرد هر مدل خاص را رعایت کنـد. بعضـی از مـواد غـذایی دارای پارامترهایی هستند که خارج از محدوده پارامترهـا و عوامـل مورد استفاده برای سـاختن یـک مـدل اسـت و ایـن عوامـل ممکن است تأثیر مهمی بر روی رفتار پاتوژن‌ها داشته باشند. برای مثال اگرچه نیتریت سـدیم در محـیط آزمایشـگاهی بـا ثبات می‌باشد ولی توسط اسکوربات موجـود در فرمولاسـیون فرآورده‌های تجـارتی گوشـت بـه سـرعت تجزیـه مـی‌شـود. استفاده از چنین مدل‌هایی در این شـرایط مناسـب نبـوده و احتمالاً پیش‌گویی این مدل‌ها صحیح نمی‌باشد با ایـن حـال چنان‌چه مدل‌ها به خوبی ارزیابی شوند مـی‌تواننـد اطلاعـات لازم را برای اتخاذ تصمیم در بسیاری از شرایط فراهم آورنـد (۷، ۴).

مدل‌ها می‌توانند احتمال خطر رشد یا بقاء یک پاتوژن را در طی یک دوره نگهداری در شرایط طبیعی یا غیـر طبیعـی برآورد نمایند. به طور کلی غذا باید به نحوی تهیه شـود کـه فساد قبل از رشد پاتوژن‌ها اتفاق افتد. ارزیابی صحیح از رفتار میکروارگانیسم‌ها در یک طیف عوامل محیطی و فاکتورهـای تشکیل دهنده ماده غذایی می‌تواند به سرعت نشـان دهنـده نواحی مشکل ساز در فرآیند تولید باشد لذا پیش بینی رفتار میکروارگانیسم‌ها می‌تواند در طراحی تولید مواد غذایی مـوثر باشد (۴).

کنترل کیفیت

برای تعیـین محـدوده‌هـای سیسـتم HACCP نیـاز بـه داده‌های علمـی مـی‌باشـد. مـدل‌هـا بـا نشـان دادن شـرایط محیطی که اجازه رشد و بقاء را به میکروب‌ها مـی‌دهنـد بـه طراحی سیستم HACCP کمک می‌کنند. تخمین‌های کمـی در سطوح مختلف فاکتورهای محیطی می‌توانند دامنه مـورد قبول را در مورد هر فاکتور مشخص نمـوده و محـدوده‌هـای بحرانی را پیشنهاد نمایند. در واقع مدل‌هـای پـیش‌گـو یـک ارتباط کمی را بـین فاکتورهـای مـورد اسـتفاده در سیسـتم پایش HACCP نظیـر درجـه حـرارت، pH، نمـک، رطوبـت نسبی و زمان با پتانسیل رشد یا مرگ میکـروب‌هـای خـاص برقرار می‌کند. مدل‌ها در مراحل مختلـف HACCP مفیدنـد که شامل:

آنالیز خطر: ازمدل‌های میکروبی به خصوص مدل‌های رشد/ عـدم رشـد بـرای نشـان دادن ایـن کـه کـدام ارگانیسـم در محصول رشد خواهد کرد، سرعت رشد آن‌هـا چقـدر خواهـد بود، می‌توان استفاده کرد.

شناسایی نقاط کنترل بحرانی CCPs: با مشـخص کـردن پارامترهایی چون درجه حـرارت، aw، pH و غیـره شناسـایی مراحلی از فرآیند تولید کـه رشـد یـا مـرگ میکروبـی در آن امکان پذیر است میسر شده و می‌توان نقاط کنترل بحرانی را تعیین نمود (۴).

تعیین محدوده‌ها: محدوده قابل قبول برای هر فاکتور مورد پایش در سیستم HACCP به وسـیله ایـن مـدل‌هـا تعیـین مـی‌شـود تـا بتـوان تغییـرات ایـن پارامترهـا را در محـدوده موردنظر کنترل کرده و از بروز خطـرات احتمـالی جلـوگیری نمود (۴).

تنوع بخشیدن به تولیدات: مدل‌سازی می‌تواند به طراحی تولید ماده غـذایی کمـک کنـد، زیـرا تغییـرات میکروبـی را متعاقب تغییر در ترکیب غذا و تغییـر در فـرآوری آن بـرآورد می‌کند. لذا می‌توان فرمولاسیون جدید و قدیمی ماده غذایی را با یک‌دیگر مقایسه کرد (۴).

آموزش: مدل‌ها می‌توانند رفتارهای میکروبیولوژیکی را برای افراد عادی توضیح دهنـد. گـراف‌هـای نشـان دهنـده زمـان رسیدن جمعیت میکروبی به حد بحرانی مـی‌تواننـد اهمیـت فراهم نمودن مواد خام دارای حداقل بار میکروبی را به خوبی نشان دهند. هم‌چنین مدل‌ها در آموزش میکروبیولوژی مـواد

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-06-23]

غذایی مفیدند زیرا قادرند اثرات شرایط محیطی بویژه شرایط مربوط به تکنولوژی چند مانعی را به سرعت نشان دهند (۴).

آنالیز داده‌ها و طراحی عملیات آزمایشگاهی

تکنیک‌های مدل‌سازی به صورت ابزاری برای توصیف و آنالیز داده‌های میکروبی درآمده اند. از زمانی که مدل‌ها به عنوان راهنمایی جهت طراحی پروتکل‌های کارهای تحقیقاتی مورد استفاده قرار گرفته اند کارآیی کارهای آزمایشگاهی افزایش یافته است. مدل‌ها می‌توانند اهمیت یک فاکتور و نیاز به آزمایش گسترده با مقادیر مختلف و تکرار آزمایش را مشخص نمایند. مدل‌ها می‌توانند زمان مناسب نمونه برداری جهت کارهای آزمایشگاهی را مشخص کنند و از این طریق موجب صرفه جویی در منابع، زمان و هزینه می‌شوند (۴).

برآورد خطر

هدف نهایی مدل‌سازی پیش‌گو در مورد پاتوژن‌های غذازاد، تعیین احتمال بیماری زا بودن یک ماده غذایی است. برای نیل به این مقصود طراح مدل باید اطلاعات کمی در خصوص تعداد اولیه پاتوژن‌ها در شروع فرآوری غذایی که آن‌را مدل‌سازی می‌کند در اختیار داشته باشد. قدم بعدی تعیین تغییرات جمعیت میکروبی در طی مراحل فرآوری است که نیاز به مدل‌های رشد، بقا و مدل‌های مرگ حرارتی دارد. تغییر در ترکیب ماده غذایی و درجات حرارتی فرآوری و تغییر دوره‌ای رشد و مرگ میکروب منجر به ایجاد جمعیت‌های مختلفی از پاتوژن خواهد شد. در نهایت مقدار غذای مصرف شده و در نتیجه آن تعداد میکروب‌هایی که وارد بدن می‌شود مشخص شده و احتمال وقوع عفونت یا بیماری معلوم می‌شود. دز عفونی به عوامل متعددی از جمله حساسیت فردی یا گروهی، سویه پاتوژن، میزان شدت آن هنگام مصرف ماده غذایی و بافت ماده غذایی بستگی دارد (۴).

طبقه بندی مدل‌ها

محدوده میکروبیولوژی پیش‌گو مواد غذایی دارای چندین طبقه‌بندی مختلف از مدل‌ها می‌باشد. تنها سیستم طبقه‌بندی که می‌تواند انواع مدل‌ها را به صورت گروه و در قالب مدل‌های سطوح اول، دوم و سوم طبقه بندی نماید توسط وایتینگ و بوچانان در سال ۱۹۹۳ ارائه شده است(۷).

مدل‌های سطح اول

سطح اولیه بیان ریاضی تغییرات جمعیت میکروبی بر حسب زمان می‌باشد.مدل‌های اولیه تغییر در تعداد باکتری‌ها را با زمان تحت شرایط خاص محیطی و شرایط کشت توصیف می‌کنند. به عنوان مثال مدل رشد که لگاریتم تغییرات تعداد باکتری را در هر میلی لیتر بر حسب زمان محاسبه می‌کند. اندازه‌گیری مقدار میکروب‌ها را می‌توان با اندازه‌گیری کدورت و قابلیت هدایت نیز انجام داد. هم‌چنین پاسخ‌ها را می‌توان با اندازه‌گیری دقیق و تعیین تعداد کل سلولهای زنده، تولید توکسین، میزان و سطح سوبسترها یا محصولات متابولیکی و یا به طور غیر مستقیم به وسیله جذب نوری، دانسیته نوری یا امپدانس ارزیابی کرد. منحنی‌های رشد درمدل‌های اولیه اغلب بر اساس معادله گمپرتز و بارانی می‌باشد که با داده‌های میکروبیولوژیکی تناسب بیشتری دارد (۱۲، ۷، ۴).

مدل‌های سطح دوم

مدل سطح دوم معادلاتی است که توضیح می‌دهد چگونه پارامترهای مدل اولیه با تغییرات ایجاد شده در فاکتورهای محیطی تغییر می‌کند. به عبارت دیگر این مدل‌ها پاسخ یک یا چند پارامتر مدل اولیه مثل طول فاز کمون را در اثر تغییر یک یا چند پارامتر مربوط به شرایط محیطی یا شرایط محیط کشت مثل pH، aw، درجه حرارت و NaCl توصیف می‌کند (۱۲، ۷، ۴).

مدل‌های سطح سوم

مدل‌های سطح سوم فرم نهایی مدل‌سازی است. با استفاده از یک یا چند مدل اولیه و ثانویه و ترکیب کردن آن‌ها با یک‌دیگر یک نرم افزار کامپیوتری تهیه می‌شود. استفاده کنندگان از این مدل‌ها نیازی به دانستن و آگاهی داشتن از تکنیک‌های مدل‌سازی ندارند و مدل‌های اولیه و ثانویه مورد استفاده برای ساختن مدل‌های سطح سوم قدرت پیش‌گویی میکروبیولوژیکی را ایجاد کرده و ابزاری قدرتمند با کاربرد ساده برای همه عرصه‌های تحقیق و صنعت مواد غذایی می‌باشند. در حال حاضر بسته‌های نرم افزاری مدل‌سازی میکروبی در دسترس می‌باشند. در ایالات متحده، برنامه مدل‌سازی پاتوژن PMP تهیه شده است. این نرم افزار با استفاده ازمدل‌های چند متغیری بر اساس استفاده از روش گومپرتز تهیه شده است. این برنامه با استفاده از اطلاعات تجربی وسیع در خصوص رفتار میکروارگانیسم‌ها در محیط مایع طراحی شده است. در نسخه ۱۹۹۸ آن مدل رشد *کلستریدیوم پر فرینجنس*، مدل غیر فعال‌سازی حرارتی *کلستریدیوم بوتولینوم* و مدل تابش اشعه گاما برای *سالمونلا*، *E. coli O157:H7* و فلور نرمال گوشت آورده شده است.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-06-23]

نسخه‌های جدید این نرم افزار از طریق اینترنت قابل دانلود کردن می‌باشد.

وزارت کشاورزی انگلستان نیز نرم افزار میکرومدل را طراحی کرده است. این نرم افزار طیف وسیعی از مدل‌های پیش‌گو را برای حداقل ۱۲ پاتوژن غذا زاد ارائه کرده است (۱۲، ۷، ۴).

اگرچه متغیرهای زیادی بر روی رشد میکروبی در مواد غذایی تأثیر می‌گذارند اما مدل‌ها اساساً بر مبنای پارامترهای اصلی مؤثر بر رشد میکروبی نظیر درجه حرارت، pH و aw استوار شده است. معتبرسازی این مدل‌ها برای استفاده در مواد غذایی از طریق مقایسه رفتار پیش‌گویی شده برای هر ارگانیسم با اطلاعات موجود در منابع در خصوص همان ارگانیسم در مواد غذایی حاصل می‌شود. در مواردی که اطلاعات موجود در منابع کافی نباشد آزمایشات خاصی جهت معتبرسازی مدل باید انجام شود (۷).

علی‌رغم تمام این تلاش‌ها تضمینی وجود ندارد که پیش‌گویی‌ها با آن‌چه در سیستم غذایی خاص مشاهده می‌شود مطابقت داشته باشد. محققین در تلاش برای کامل کردن نقایص اطلاعاتی این سیستم‌ها هستند تا نرم افزارهای کامل‌تری را عرضه کنند. نا گفته نماند که بررسی‌ها نشان می‌دهد که پیش‌گویی کردن با این نرم افزارها به طور قابل قبولی با نتایج موجود در منابع یا نتایج حاصل از کارهای تجربی و آزمایشگاهی مطابقت دارد (۷).

References

12- URT S. Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods – A review. International Journal of Food Microbiology 2004; 94: 223-253.

2- LJUNG L, GLAD T. Modeling of dynamic systems, Englewood Cliffs, N.J. 1994, PTR Prentice Hall.

3- ADAMS MR, MOSS MO. Food microbiology 2008; Cambridge, RSC Publ.

4- DOYLE, M. P., BEUCHAT, L. R. & MONTVILLE, T. J. Food microbiology: fundamentals and frontiers 1997; ASM Press Washington, DC.

5- TIJSKENS, L. M. M., HERTOG, M. L. A. T. M. & NICOLA, B. M. 2001. Food process modelling [Online]. Cambridge: Woodhead Pub. Available: http://public.eblib.com/EBLPublic/PublicView.do?ptiID=269267

6- MCMEEKIN T, BROWN J, KRIST K, MILES D, NEUMEYER K, NICHOLS D, OLLEY J, PRESSER K, RATKOWSKY D, ROSS T. Quantitative microbiology: a basis for food safety. Emerging Infectious Diseases 1997; 3: 541.

7- MCDONALD K, SUN DW. Predictive food microbiology for the meat industry: a review. B International journal of food microbiology 1999; 52: 1-27.

8- BUCHANAN, R. L. Predictive food microbiology. Trends in Food Science & Technology 1993; 4: 6-11.

9- ZWIETERING M, JONGENBURGER I, ROMBOUTS F. VAN'T RIET K. Modeling of the bacterial growth curve. Applied and Environmental Microbiology 1990; 56: 1875.

10- ZHAO, L., MONTVILLE, T. & SCHAFFNER, D. Time-to-detection, percent-growth-positive and maximum growth rate models for Clostridium botulinum 56A at multiple temperatures. International journal of food microbiology 2002; 77: 187-197.

11- ROBERTS, T. Microbial growth and survival: developments in predictive modelling. International biodeterioration & biodegradation 1995; 36: 297-309.

12- MCCLURE, P. & DE W, B. Modelling the growth, survival and death of microorganisms in foods: the UK food micromodel approach. International journal of food microbiology 1994; 23: 265-275.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-06-23]

Application of mathematical modeling and predictive microbiology in food science

Shahnia M[1], Radmehr B [2], Ghasemlou M[3], Khaksar R[4]*

1- *Students' Research Committee, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Faculty of Nutrition and Food Technology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran*

2- *Assistant prof, Dep. of Food Hygiene, Islamic Azad University, Karaj Branch, Iran*

3- *M.Sc in of Food Science and Technology, Dept. of Food Science, Engineering and Technology, Faculty of Agricultural Engineering and Technology,University of Tehran, Karaj, Iran*

4- ** Corresponding author: Associate prof, Dept. of Food Science and Technology, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Faculty of Nutrition and Food Technology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.Email: r.khaksar@sbmu.ac.ir*

Abstract

The increasing incidence of food borne outbreaks resulting in social and economic losses still provokes the need to search for novel strategies in order to prevent food contamination. During the recent decades, there has been a dramatic enhancement in research on the development of mathematical models in predictive microbiology. Growth predictive modeling has been so widespread that it is now one of the most rapidly advancing fields of study, which gives the ability to estimate the microbial growth in a swift and cost-effective way.The concept of this research field is that a detailed knowledge of the behavior (survival, growth, inactivation) of microorganisms in food products, transformed into mathematical models, enables the estimation of the microbiological safety and quality of foods.

Keywords: Food, Predictive microbiology, Growth, Inactivation

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-06-23]